

(51)Int.Cl.⁷H 0 1 S 3/08
3/06
3/109

識別記号

F I

H 0 1 S 3/08
3/06
3/109

テーマコード* (参考)

Z

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 34 頁)

(21)出願番号 特願平10-545818
 (86) (22)出願日 平成10年3月19日 (1998.3.19)
 (85)翻訳文提出日 平成11年9月21日 (1999.9.21)
 (86)国際出願番号 PCT/US98/05472
 (87)国際公開番号 WO98/43329
 (87)国際公開日 平成10年10月1日 (1998.10.1)
 (31)優先権主張番号 60/041, 185
 (32)優先日 平成9年3月21日 (1997.3.21)
 (33)優先権主張国 米国 (US)
 (31)優先権主張番号 08/888, 533
 (32)優先日 平成9年7月7日 (1997.7.7)
 (33)優先権主張国 米国 (US)

(71)出願人 ノバルクス・インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州
 94404、サン・マテオ、スイート 303、マ
 リナース・アイランド・ブルバード
 655
 (71)出願人 モーラディアン、アラン
 アメリカ合衆国、カリフォルニア州
 94904、ケンフィールド、ユニット・ビー、
 サー・フランシス・ドレイク・ブルバード
 1101
 (74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高出力レーザ装置

(57)【要約】

高出力レーザ放射を発生するための装置および方法において、共振レーザキャビティの構造は、基本的な空間的または横断するキャビティモードを規定する。利得媒体が共振キャビティ内に設けられていて、エネルギー源が第1の体積内の利得媒体を付勢する。これが、基本的なキャビティモードを横断する方向で利得媒体に伝搬する自然で誘導エネルギー放射を起こさせる。横断する放射は、次いで、第1の体積の周りに利得媒体の第2の体積を光学的に供給する。放射の強さが十分高い場合、逆変換と利得とは、第2の体積で生成される。基本的なキャビティモードが第1の体積と第1の供給された体積を取り巻く第2の体積との両方に結合されるように、キャビティの構造を最適化することによって、他の方法で消費され第1の体積に横断的に向けられたエネルギーは、基本的ビームにより代わって捕捉されレーザの全体の出力効率を改良する。外部キャビティに構成された場合、本発明の高パワーレーザは、効率的な非線形周波数変換に適したビーム強度を有するように、特に出力ビームの周波数変換に補正可能である。

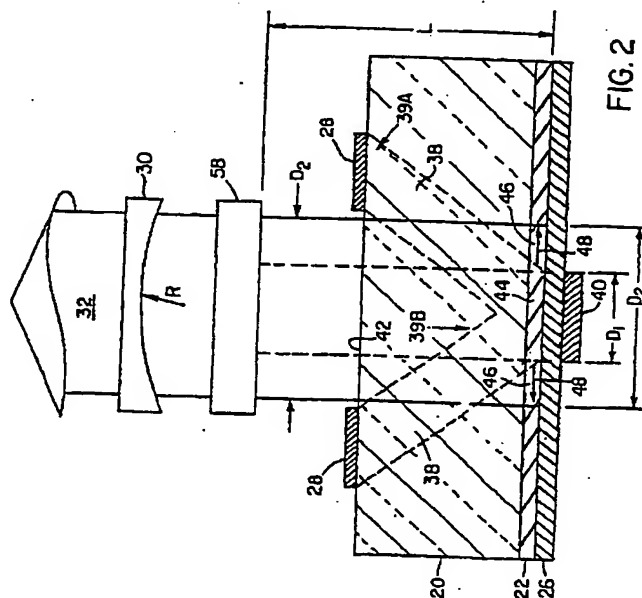


FIG. 2

【特許請求の範囲】

1. 第1と第2のリフレクタの間に設けられ基本的なキャビティモードを規定する共振キャビティと；

前記共振キャビティ内に配置された利得媒体と；および

第1の体積内で前記利得媒体を付勢するためのエネルギー源とを有し；

前記エネルギー源は前記基本的なキャビティモードと実質的に横断する方向へ前記利得媒体内で伝搬するための光学的エネルギー発生を生じさせ、前記横断するエネルギー発生は前記第1の体積の周りに前記利得媒体の第2の体積を光学的に供給し、前記第1と第2の体積内の前記エネルギーは前記基本的なキャビティモード内で結合されていることを特徴とするレーザ装置。

2. 前記第1の体積は実質的に円筒状で断面積の直径が D_1 であり、前記第2の体積は実質的に環帯で断面積の外側の直径が D_2 であって断面積の内側の直径が D_1 であり、前記第1と第2の体積は断面積的に実質的に同心であることを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

3. 利得媒体は、半導体、複数の量子井戸半導体および固体からなるグループから選択された材料を有することを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

4. エネルギー源は、電気的に供給された電流と共に利得媒体を付勢することを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

5. エネルギー源は、光学的誘導によって利得媒体を付勢することを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

6. 利得媒体の向き合った側に設けられ、付勢されたときレーザの第1の円筒状の体積を供給する環状の電極と円形の電極とをさらに備えたことを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

7. レーザビームの経路に設けられビームの周波数を調整するための非線形材料をさらに備えたことを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

8. 非線形材料は、レーザのキャビティ内に設けられていることを特徴とする請求項7記載のレーザ装置。

9. 非線形材料は、レーザのキャビティ外に設けられていることを特徴とする

請求項1記載のレーザ装置。

請求項7記載のレーザ装置。

10. 非線形材料は、KTP、LiNbO₃、周期的に極化されたLiNbO₃、KTN、およびKNbO₃のグループの中から選択されることを特徴とする請求項7記載のレーザ装置。

11. 非線形材料は、レーザが単一の周波数で操作するファブリーペロー共振を有していることを特徴とする請求項7記載のレーザ装置。

12. エタロン、複屈折要素、プリズム、およびグレーティングからなるグループから選択された内部キャビティ同調要素をさらに備えていることを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

13. 基本的波長に透過する導電性の材料と、第2の調波光が前記導電性の材料に吸収され、前の方へ放射された第2の調波放射の効率を増加するために電子とホールとが利得領域内に拡散するように、利得領域に隣接して成長した第2の調波放射の吸収剤をさらに備えたことを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

14. 脈動またはモードロックした配置で操作されることを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

15. アドレス可能な要素のアレーとして形成されたことを特徴とする請求項1記載のマルチレーザ装置。

16. 第1の反射面と第2の伝搬面とを有する光学要素をさらに備え、前記第1の面は第1のキャビティリフレクタとして操作され、前記第2の伝搬面は前記要素からのエネルギー出力を収束するためのものであることを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

17. 第1の反射面は凹状で、第2の反射面は凸状であることを特徴とする請求項16記載のレーザ装置。

18. 前記収束されたエネルギー出力を受けるために整列された入力面を有する光学ファイバをさらに備えたことを特徴とする請求項16記載のレーザ装置。

19. 半導体基板と；

前記基板の第1の面の半導体利得媒体と；および

第1の体積内で前記利得媒体を付勢するためのエネルギー源と；

を有し、前記エネルギー源は光学的エネルギー発生を前記利得媒体に前記第1の

体積を実質的に横断する方向へ伝搬するようにし、前記横断するエネルギー発生は前記第1の周りに前記利得媒体の第2の体積を光学的に供給し、この供給は、前記第2の体積の断面積幅にほぼ等しく前記第2の体積に向けられた入力ビームの幅が、前記第1と前記第2の体積のエネルギーによって増幅されるようにしたことを特徴とする光学装置。

20. 半導体基板と；

前記基板の半導体利得媒体と；

前記基板と前記利得媒体とを有して、基本的なキャビティモードを規定する共振キャビティを規定する第1と第2のリフレクタ；および

第1の体積内で前記利得媒体を付勢するためのエネルギー源と；

を有し、前記エネルギー源は光学的エネルギー発生を前記利得媒体に前記第1の体積を実質的に横断する方向へ伝搬するようにし、前記横断するエネルギー発生は前記第1の周りに前記利得媒体の第2の体積を光学的に供給し、この供給は、前記第2の体積の断面積幅にほぼ等しく前記第2の体積に向けられた入力ビームの幅が、前記第1と前記第2の体積のエネルギーによって増幅されるようにしたことを特徴とするレーザ装置。

21. 前記第1の体積は、実質的に円筒状で断面積の直径が D_1 であり、前記第2の体積は、実質的に環帯で断面積の外側の直径が D_2 であって断面積の内側の直径が D_1 であり、前記第1と第2の体積は断面積的に実質的に同心であることを特徴とする請求項20記載のレーザ装置。

22. 利得媒体の向き合った側に設けられ、付勢されたときレーザの第1の円筒状の体積を供給する環状の電極と円形の電極とをさらに備えたことを特徴とする請求項20記載のレーザ装置。

23. レーザビームの経路に設けられビームの周波数を調整するための非線形材料をさらに備えたことを特徴とする請求項20記載のレーザ装置。

【発明の詳細な説明】

高出力レーザ装置

関連出願

この出願は、1997年3月21に出願された米国仮出願第60/041、185の利益を請求し、その内容をここで参照して取り込む。

発明の背景

今日通常使用されている半導体レーザは、エッジ放射ダイオードレーザと垂直キャビティ (cavity) 面放射レーザ (VCSELs) とを有している。エッジ放射レーザにおいて、半導体利得媒体 (gain medium)、例えば量子井戸 (quantum-well) 半導体基板は半導体基板の面上に形成されている。キャビティミラーは、利得媒体を有する共振キャビティを形成するために、基板面に垂直に基板の反対側に形成されるかまたは他の方法で配置される。利得媒体の電氣的または光学的供給は、基板の平面に沿った方向へ伝搬するレーザビームを発生する。

エッジ放射レーザは、極めて普通の半導体レーザ装置である。個々の装置として商業的に利用可能で線形バーのアレー (array) は、たとえば、固体レーザを供給するための光学的供給源として使用される。エッジ放射レーザの、代表的には数百ミリワットより大きい適用構造は、通常高順位の空間モード (spatial mode) および複数の周波数において操作する。これは、単一空間モードおよび/または単一周波数において高出力レーザ出力が必要な、それらの応用の使用を阻止する。エッジ放射は、また、非点収差 (astigmatism) と、ビームを小さなスポットに焦点を合わせるのを困難にする通常大きなビームの縦横比をかなりの程度有していて、焦点を合わされた出力ビームを必要とする応用に使用できなくする。ビーム品質が悪いエッジ放射レーザは、また、わかりにくく非効率的な非線型光学材料を使用したレーザ出力の周波数重畳 (doubling) をする。

従来のVCSELにおいて、キャビティミラーは、半導体基板に成長した半導体利得媒体の向き合った面に形成されるか、または他の方法で配置される。電気

的または光学的供給は、基板の面と直交する方向に放射されたレーザビームを発生する。

従来のVCSELsは、光学的通信および光学的連結システムの応用を見出した。VCSELレーザは、約8ミリワット (mW) の連続した波長 (continuous wave) (cw) に制限される通常低い基本的空間モードのTE_{M00}出力によって特徴づけられ、また、数マイクロメータ (μm) のオーダーの小さな基本的モードのビーム直径によってさらに特徴づけられる。ビーム直径が、 $100\mu\text{m}$ のオーダーの直径を持った比較的大きな領域のVCSEL放射は、cw出力の数百mWを有する出力ビームを製造できる。しがしながら、従来のVCSELsを高出力の大きい直径で操作すると、通常、高いオーダーの空間モードと複数周波数を有する出力ビームのペナルティをもたらす。垂直外部キャビティ面放射レーザ (VECSEL) としてこの分野で参照される外部キャビティVCSEL構造において、外部リフレクタは外部カプラとして役立つ。外部キャビティVECSEL装置は、VCSEL装置よりも高い基本的空間モード出力を有する。

垂直に発生する半導体レーザの外部キャビティの従来の作業は、低出力の結果となる。たとえば、SanduskyとBrueckの作業は、半導体を励起するために低出力を生成し、光学的供給を使用した。Photonics Technology Letterの1996年第8巻313ページ～315ページのj. V. SanduskyとS. R. J. Brueckの「cw外部キャビティ面放射レーザ」を参照してほしい。Hadley他の研究において、外部キャビティの電氣的に励起されたVCSELは、基本的空間モードにおいて、2.4 mWcwと100mW 脈動 (pulse) とを生成した。この場合において、 $120\mu\text{m}$ 迄の放射領域が使用された。Applied Phys. Letterの1993年の第63巻1607ページ～1609ページのM. A. Hadley、G. C. Wilson、K. Y. Lau、およびJ. S. Smithの「高単一横断モード出力の外部キャビティ面放射レーザダイオード」を参照して

ほしい。

半導体レーザの面は、面に対して形成されるか、は

種々のレーザ応用のために、レーザによって発生されたビームは、周波数変換と周波数重畳 (frequency doubling) が実行される。これは、非線形材料、たとえば、KTP、KTN、 KNbO_3 、 LiNbO_3 をレーザ経路に導入することによって達成される。非線形材料へのビーム投射の周波数は、第2の周波数に変換される。非線形材料は、「重畳結晶」として参照され、材料の性質は、それが結晶を横断するビームの周波数を重畳するのに役立つようなものである。材料による効率的な周波数変換は、通常、高強度で単一モードの投射ビームが必要である。

半導体レーザの周波数重畳は、成功の程度を変えるために、エッジ放射ダイオードレーザキャビティの外部に設けられた重畳結晶を使用して過去において実証されてきた。エッジ放射ダイオードレーザからの出力ビームは、通常、高度に分歧し、効率的な周波数重畳のために理想的に要求されたそれからの光学的フィールド強度と位相前部とを劣化するような、非点収差のある程度と同様な大きな縦横比を有している。光学的フィールド強度を比較的長い経路の長さのある程度越えて維持するために、ダイオードレーザからの光が非線型材料に組み立てられた光学伝搬路に投射される実験が実行されてきた。この技術は、通常複雑で、レーザ光を外部伝搬路に投射するために十分なビーム品質を有している比較的低出力ダイオードレーザを使用する。

過去においていろいろな技術が、十分な変換が可能なようにビームパワーを装備するために試みられた。SPIEのProc. の1980年の第236巻第8ページ～第18ページのGunter、P. Gunter他による「レーザダイオードを持った光学的周波数重畳用の非線型光学結晶」は、単一経路重畳構造にカリウムニオブ酸塩 KNbO_3 を使用したダイオードレーザ放射の低効率周波数重畳を実証している。他の技術において、Koslovsky他の1987年のOptics Letter 12、1014は、周波数変換を達成するために循環パワーを増加する外部リング共振器に単一空間モードのエッジ放射ダイオードレーザと KNbO_3 を使用している。Koslovsky構造は、非線型結晶の温度を両方の周波数に調波させるのと同様に、リングキャビティのファブリーペ

ロー (fabbr-y-Perot) 共振器に単一周波数レーザの周波数ロックが必要である。これは、周波数ロックを維持するために複雑な結晶配列と波長制御回路とが必要である。

発明の概要

本発明は、上述の制限を克服する単一空間モードにおける高出力レーザ放射を発生するための装置と方法に関する。本発明のレーザは、外部キャビティに形成された場合、効果的周波数変換のために適切な経路長を越えたビームパワー密度を提供するように、出力ビームの周波数変換のために特に受入可能である。

本発明の第1の実施例において、装置は、第1と第2の部分的リフレクタの間に規定された共振キャビティを有している。共振キャビティの構造は、基本的空間または横断するキャビティモードを規定する。利得媒体は、共振キャビティ内に配置され、エネルギー源は、第1の体積 (volume) 内の利得媒体を付勢する。これが、基本的なキャビティモードを横断する方向で利得媒体に伝搬する自然で誘導エネルギー放射を起こさせる。横断する放射は、次いで、第1の体積の周りに利得媒体の第2の体積を光学的に供給する。自然放射の強さが十分高い場合、逆変換と利得とは、第2の体積で生成される。第1と第2の体積内のエネルギーは、基本的なキャビティモードレーザビーム内に結合される。

基本的なキャビティモードが第1と第2の体積の両方に結合されるように、キャビティの構造を最適化することによって、第2の体積内へ横断的に向けられた第1の体積のエネルギーは、他の方法でも浪費されるが、レーザの全体のパワー効率を改良するために、代わって基本的ビームによって補足される。これを効果的にするために、好ましい実施例において、キャビティミラーは、基本的キャビティモードを第2の体積に断面積に調波させるために選択される。この方法において、基本的空間モードにおけるレーザエネルギーは、利得媒体の第1と第2の両方の体積から効率的に引出される。

好ましい実施例において、第1の体積は実質的に円筒状で断面積の直径が D_1 であり、第2の体積は実質的に環帯で断面積の外側の直径が D_2 であって断面積の内側の直径が D_1 であり、第1と第2の体積は断面積的に実質的に同心である。

利得媒体は、好ましくは、垂直キャビティ構造に半導体材料で形成されている。あるいは、利得媒体は、利得遷移のスペクトル領域に吸収を有する活性化イオンを有した固体材料で形成されてもよい。そのような固体材料の例としてエルビウム (Er) : ガラス、イッテルビウム (Yb) : ガラス、およびイッテルビウム (Yb) : YAGがある。固体材料の場合、供給エネルギーは、好ましくは、たとえばダイオードレーザのような光学的手段によって発生される。

非線型結晶は、レーザ出力周波数を変更するために、光学的キャビティまたはレーザの外へ設けられる。非線型変更用の適切な材料は、KTP、KTN、KNbO₃、およびLiNbO₃、ならびに、周期的に極化された (poled) LiNbO₃ のような周期的に極化された材料を有している。

以下に詳細に述べられる本発明の好ましい実施例は、1 mmの直径のビーム用として基本的空間モードにおいて100 kWを越える内部キャビティ循環パワーレベルを発生することができる。レベルは、非線形材料の基本的放射の調波した変換を生成するために十分である。たとえば、GaInAs利得媒体を使用した半導体構造の周波数重畳は、900 nmから1100 nmの基本的な波長と、青から緑の波長の周波数重畳出力を提供する。

図面の簡単な説明

本発明の上述のおよび他の目的、態様、および利点は、異なった図を通して同様の部品に類似の参照符号を付してある添付した図面に示された、本発明の好ましい実施例の特別な記述から明らかになるであろう。図面は、寸法的には必要ではなく、発明の原理を示すのに代えて強調されている。

図1は、本発明によるVECSELレーザ構造の斜視図。

図2は、本発明による第1の供給された体積から第2の環状の体積への自然で誘導放射の横断する伝搬を示すための図1の構造の切除した側面図。

図3は、本発明による第1の供給された体積と第2の環状の体積との関係を示すVCSELレーザ構造の斜視図。

図4は、本発明による光学的増幅装置の構造を示す斜視図。

図5は、出力エネルギーを工学ファイバ内へ結合するための結合構造を示す側

面図。

好ましい実施例の詳細な説明

図1は、VECSEL構造における本発明の好ましい実施例の斜視図である。図1のレーザは、半導体基板20を有していて、その第1の面上には、半導体量子井戸利得領域22が形成されている。第1のリフレクタ26、例えばp-Braggリフレクタが、量子井戸領域22上に形成されている。外方の第2のリフレクタ30は、第1のリフレクタ26に向き合って位置している。第1のリフレクタと第2のリフレクタ26、30の間の距離とそれらの各曲率は、基本的なキャビティモード60を規定している。第2のリフレクタ30は、図1において、VECSEL構造に従って外部キャビティミラーとして示されている；しかしながら、第2のリフレクタ30は、それに代わって、VCSEL構造を構成するように基板の第2の面に直接隣接する層としても良い。本発明のためにここで使用される用語「リフレクタ」は、部分的におよび／または完全に反射性の材料および／または面を含むことに注目してほしい。第2のリフレクタ30が面した基板20の表面42は、好ましくは、反反射性のコーティング42の処理がされ、境界面を横切るどのようなビームエネルギー60も、最小の反射で通過するであろう。好ましい態様は、従来技術において良く知られている。

図2の断面図に示したように、共振キャビティは、電氣的な環状のコンタクト28によって電氣的に供給され、基板20の向き合った面の環状のコンタクト28と円形のコンタクト40との間で電流38を流すようにする。結果としての合成的な電流の流れ38は、一般に形状が円錐状で、コーンの基剖39Aは環状のコンタクト28にあり、コーンの頂部39Bはコンタクト40の近傍にある。頂部39B内の流れは、一般に断面積が環状であって、利得領域22の実質的に円筒状の第1の体積44を付勢するが、第1の体積44は断面積の直径がD1である。直径D1は、好ましくは、利得領域22の厚さよりも実質的に大きい。

直径D1の励起された利得領域22は、キャビティレーザビームの伝搬を横切った方向へ移動する、誘導されたおよび自然放射を矢印48で示されたように生ずる。標準的な従来のVCSELまたはVECSELレーザにおいて、そのよう

なエネルギーは、装置の外側へ逃げるか、または出力ビーム32に貢献しないエネルギーとして浪費された。本発明の構成においては、この横断エネルギーは、第1の供給された体積を取り巻く環状の第2の体積46に吸収される。この吸収されたエネルギーは、基本的なレーザモード60内への利得、したがってパワーを与える第2の体積46を供給するのに役立つ。

第1の領域D₁の電氣的または光学的供給が利得を生成すると、この利得は横断方向と長手方向の両方のために生ずる。横断利得長さが長手利得長さよりも大きいので、誘導放射 (stimulated emission) をよりその方向に生ずることができる。寸法D₁が大きければ大きいほど横断方向への誘導放射用の正味の利得は大きくなる。熱放散と制限が、長手方向における半導体の表面の光学パワー密度による悲劇的な劣化によって設定されるので、より大きい出力はより大きい領域の装置を要する。そのような大きい領域の装置のために、全体のパワー転換効率を減少するような横断する誘導放射の発生によって大きなパワーが失われる。自然放射 (spontaneous emission) もまた起きるが、しかし、比較的大きい領域の装置用にはさほど重要ではなくなる。もし隣接する領域が、誘導放射を吸収するために（また、同様に、自然放射が比較的小さいために）構成されていると、別な方法で失われたエネルギーは、第2の領域D₂をそれが利得を生ずる程度に光学的に供給するために使用することができる。第2の領域D₂内に供給されたエネルギーは、D₂に等しいモードくびれ (waist) を利得媒体に生ずるために、外側のミラー30を調整することによって抽出することができる。外側のキャビティミラー30は、D₁とD₂とによって規定された全体の領域の利得を固定すなわち「クランプ」する。供給された領域の中心から離れた強度の減少と共に、横断する供給の程度が減少するので、第2の領域D₂の範囲には限界がある。この限界は、寸法D₁と、D₁によって規定された領域の供給強度（電氣的または光学的）に関連する。

モードくびれ直径D₂が与えられと、第2のリフレクタ30用の適切な曲率半径Rと適切な光学キャビティ長さとを有するキャビティを構成するための技術は、この分野で良く知られている。例えば、Herwig KogelnikおよびTingye Leeの、「ビーム、モードおよび共振装置」（1971のC

R

C発行のCRCレーザハンドブック421～441頁)を参照してほしい。第2の直径D₂は、励起レベルと直径D₁との関数である。デザインは、半導体の悲劇的な劣化と第2の直径D₂からの熱的パワー放散とによって限定された、循環パワー密度によって限定された最大出力パワーのために最適化されるであろう。キャビティ用のモードくびれ直径は、例えば、キャビティ長さLを第2のリフレクタ30用の固定された曲率半径R用に調整することによって釣り合わせることもできる。

図3は、本発明によるVCSEL構造のレーザの第1の供給体積44と第2の出力体積46との関係を示す斜視図である。供給された第1の体積44は、利得媒体22の領域において直径D₁である。矢印48で示された自然および誘導放射の横への伝搬は、第1の体積44を取り巻いている第2の体積46を特徴付ける環状の体積46を光学的に供給するかまたは他の方法で励起する。環状の体積46は、内径D₁と外径D₂とを有していて、ガウスビーム(Gaussian beam)分配をする第1の体積44と断面積的に実質的に同心である。基本的なキャビティモードは、第2の体積46の外径にほぼ等しい直径を有することによって最適化され、それによって、第1の体積と第2の体積の両方のエネルギーは捕捉されそしてそれ故出力ビーム32に貢献する。第1の体積44の励起は、電氣的または光學的手段によって起こされるであろう。

レーザキャビティパラメータは、好ましくは、最大の操作パワーレベルにおいて、モードくびれを直径D₂に実質的に等しく設定するために調節される。単一の平面ミラー26と、図2に示された曲率半径Rを有する単一の凹状の球面ミラー30を有するレーザキャビティにおいて、レーザチップw₁と出力ミラーw₂とのモードビーム直径は、次によって特徴付けられる：

$$w_1^2 = 4\lambda L / \pi [(R - L) / L]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$w_2^2 = 4\lambda L / \pi [L / (R - L)]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ここで、上記で引用したK o g e l n i k他に述べられているように、 L はキャ

ビティ長さで、 λ は出力レーザビーム32の波長である。これらの方程式から、例えば、キャビティ長さ L を特定の曲率半径 R 用に調整することによって、基本的なレーザモードの直径は、第2の体積46の外径に等しく作ることができることが明らかである。あるいは、曲率半径 R はキャビティ長さ L の特定の範囲用に選択されるようにしても良い。湾曲ミラーに代えて平坦な出力カプラが、同一の結果を達成する適切な構造のレンズと共にキャビティに使用される。物理レンズまたは熱レンズは、この目的のために使用し得る。

半導体レーザ装置の好ましい実施例は、多数要素量子井戸構造かまたは、この多数要素量子井戸構造に等しい全体の利得厚さを有する単一利得領域を備えている。十分な単一の通過利得を達成するために、ガリウムインジウム砒素 (GaInAs) のような半導体材料の900ナノメートル (nm) から1100 nmの波長のレーザ構造は、少なくとも5量子井戸または等しい厚さを有している。より効率的な操作用として、導電性の基板層20のレーザ波長での自由搬送吸収による光学的損出を効率的に克服するために、少なくとも10量子井戸が使用される。単一の量子井戸の代表的な厚さは、ほぼ8 nmである。光学的バンドギャップは量子井戸の厚さに依存していて、それ故、利得材料の単一層用の等価厚さは狭い量子井戸用の類似の組成構造から幾分シフトされた波長を有していることに注意してほしい。全体の厚さまたは量子井戸の数は、効率的操作のために全ての内部キャビティの損出を克服するための利得を増加するために増加することができる。これは、そのような構造を均一に成長する能力と、そのような構造用の実際のしきい値電流密度によってのみ限定される。従来のVCSELsは、代表的には、非常に高い反射能力ミラーの間の唯一のまたは幾つかの量子井戸と共に操作する。そのような装置は、低い光学利得を示し、それ故、本発明の装置のように効率的には操作しない。

レーザ装置内に注入された電気の流れまたは光学的供給エネルギーは、良く知られた方法のいずれからでも提供でき、例えば、米国物理学会発行の「半導体レーザ」のG. P. Agarwalの146から157頁がある。本発明の好まし

い実施例において、ほとんどの射出電流38は、上述の方程式(1)および(2)によって規定されるような基本的な空間モードの直径 D_1 に等しいかまた

はそれよりも小さい直径の環状の領域内に向けられる。

上述のように、エッジ放射ダイオードレーザを使用した低効率周波数重畳は、過去においてGunterおよびKoslovsky他によって実証された。対照的に、本発明の好ましい実施例においては、全体の単一通過利得がエッジ放射ダイオードレーザよりもきわめて低いVCSELまたはVECSEL垂直キャビティレーザ構造を採用している。さらに、本発明の垂直キャビティ装置からの出力は、エッジ放射装置よりもより大きい環状ビーム領域、例えば数百倍も大きい領域に亘って分配する。基本的な循環空間モードにおける達成可能な内部キャビティ循環パワー密度は、半導体表面の悲劇的な劣化のみによって限定されて、数 MW/cm^2 を越えることができる。類似のパワー密度がエッジ放射レーザで達成可能であるのに対して、ビームは、周波数重畳を困難にするダイオードキャビティの導波路に制限される。周波数変換の効率が光学的強度と相互作用領域の長さとの両方に依存するので、ダイオードレーザの周波数重畳は複雑になり、十分な相互作用距離のフィールド強度を維持するための導波路構造をもたらすことができる。ビームが光学的レーザキャビティ内において実質的に拡散しないことにより、高光学フィールド強度が十分に長い相互作用長さを越えて維持できるので、高変換効率が、本発明において達成することができる。高品質のビームは、最近研究された周期的に極化された非線形材料のような、キャビティの外側のあらゆる変換形状のために、より好適な周波数変換状態を提供する。さらに、本発明は、光学的パワーを増加しそれ故非線形変換効率を増加するために、脈打った、利得切り換えされた、および、モードロックされた形状で操作することができる。本発明は、調波周波数変換のみでなく和および差周波数変換にも適用できる。好ましい実施例において、非線形材料は、レーザが単一周波数を操作するファブリペロー共振を有している。例示的構造が図2に示されていて、基板20と外部ミラー30との間に内部キャビティ非線形結晶58を有している。

上述の各技術の構造、例えば、Sandusky他およびHädléy他のよ

うな構造は、キャビティ構造を供給された体積のみに釣り合わせることによって限定されるが、本発明はそうではなく、エネルギーを、第1の体積において発生した横断するエネルギー放射によって付勢された第2の体積に加えて、第1の供給された体積から引き出す。

本発明の出力は、上述したように、モード体積の直径を増加することにより、増大することができる。例えば10kWのピークの出力レベルは、直径1ミリの利得領域から発生することができる。連続的なcwの出力レベルは、単一要素の装置から10ワットを越え、熱的要件によってのみ限定される。

後ろの方向へ伝搬する第2の調波放射はさらに半導体レーザ構造に吸収されるが、それは、活性化利得領域へ移動する電子と正孔とを生成し、それによって基本的レーザ放射のパワーを増加するするようにしてなされる。これはまた、調波放射の単一終了出力を生成するのと同様に、第2の調波出力の効率増加の効果を有する。他の実施例において、調波放射が利得媒体内に反射して戻らないが中間のミラーによって存在する位置に非線形材料が設けられている3ミラーキャビティが使用できる。リング共振器構造もまた採用できる。

赤外線波長を可視に変換するのに適した代表的な周波数重畳材料は、周期的に極化されたLiNbO₃、KTP、およびKNbO₃を有する。900nmレンジで操作するGaInAsレーザを使用して、例えば、KTPは1μmの光線を緑の波長に変換するために位相を釣り合わせる事ができ、KNbO₃は赤外光線を青の波長に変換することができる。

この分野で良く知られた内部キャビティ周波数重畳用の多くの構造は、本発明において使用することができる。例えば、パワー密度を増大するために、焦点式レンズをミラー24と30とによって規定されたレーザ共振器内に配置することができる。この技術は、非線形材料または比較的低い非線形性能計数の非線形材料を非常に短い長さで使用する事を可能にする。

KTPおよびKNbO₃のような重畳材料のために、本発明の構造において可能な循環パワーレベル用の活性結晶長さは1cmよりもかなり短い。比較的短い非線形材料の長さは、条件に釣り合う比較的広範囲な温度と波長位相を提供する

上記の各図面の構造、例えば、S and u n d

ことができる。例えば、 KNbO_3 用として、1mmまたはそれ以下の結晶長さは、セ氏数度以上の温度位相釣り合いバンド幅、および数ナノメートルの波長バンド幅が提供できる。そのような広い受容レンジは、そのような装置の製造と操作をかなり実用的にする。波長は、利得媒体材料の合金組成の選択によって制御さ

れるであろうが、正確な波長制御は、内部キャビティエタロン (etalon) またはこの分野で良く知られた他の波長制御技術によって達成可能である。KTPを含む他の非線形材料にも同様の結果が適用する。

半導体の利得領域22は好ましくは、マルチ要素量子井戸構造を有している。あるいは、全体の利得厚さがマルチ量子井戸構造のそれと等しい単一の利得領域を採用しても良い。十分な単一の通過利得を達成するために、GaInAsで作られた代表的には900nmから1100nm波長レーザ構造用の多くの量子井戸は、5以上で、代表的には10と25井戸の間の範囲である。電氣的または光学的励起の何れかを使用する脈動条件下で操作する高ピークパワー装置用として、井戸の数は、50以上となろう。限界は、多くの応力のない量子井戸層を成長させるための実用的な能力によって管理される。この場合において、ヘテロ構造は、より効果的な選択であろう。高ピークパワー装置は、例えば、供給源としての高出力Q切り換え固体レーザを使用することによって作ることができる。従来の垂直キャビティ半導体レーザは、代表的には、唯一または幾つかの量子井戸と非常な高反射性キャビティミラーと共に操作する。そのような装置は、本来の低光学利得により、本発明における効率のように操作しないであろう。実質利得は、基板材料22の自由搬送損出と、非線形材料と内部キャビティ光学要素の関連された反反射コーティングにおける光学損出とを含む外側キャビティにおける損出を克服するのに十分である。

図2は、半導体基板20に形成された代表的な量子井戸装置22を示している。高度に反射性のミラー26が、レーザ共振器の1つのミラーを提供するために装置の背面に増加される。頂部クラッド層は、非反射被覆42ができレーザ波長の光学吸収が低い導電性の接点として役立つ。他の実施例において、第2の調波放射よりも大きい光学的バンドギャップを持った電氣的に導電性の材料は、キャ

リアの拡散長さよりも小さい厚さで、基本的レーザ放射に透過し、そして活動的な材料と熱くて幅のあるバンドギャップ材料との間で成長した第2の調波放射の吸収する第2の層を持った導電層として役立ち、利得領域内に拡散するために光学的に付勢されたキャリアを可能にする。厚い導電性の材料は、例えば、蒸着されたスズ酸化物を有する。単一周波数操作は、例えば、エタロンをキャビティに導

くことによって達成される。あるいは、非線形結晶58が同様に周波数選択要素として役立っても良い。

高出力で可視波長を発生する能力は、プロジェクションディスプレイ、読み出しおよび書き込みの光学的ディスク、光学的ホログラフィック記憶装置、およびバイオ蛍光センサを含む出願の範囲で本発明を魅力的にする。プロジェクションディスプレイの場合用に、色の3原則が発生できる。例えば、青の波長と緑の波長は、GaInAs半導体レーザの出力を波長重畳することによって生成でき、この出力は、900nm~1100nm以上の範囲の波長から選択される。適切な波長重畳材料は、緑の波長用のKTPと、青の波長のKNbO₃を含んでいる。パワーはそのような装置を使用しているアレー(array)で測定される。数十ワットの出力パワーレベルが発生する。そのようなアレーからの出力はアレーの要素間のコヒーレンスがないので、スペックル(speckle)の効果は、ディスプレイシステムにおいて投影された像の品質に影響を与えないように大きく減少する。アレー装置の場合において、出力カプラは、リソグラフィ的に製造された2光学系ミラーまたはマイクロミラーのアレーを有していて、その位置は、ダイオードレーザ発生領域の中心に正確に整列される。

本発明に採用した投影ディスプレイシステムは、液晶空間光変調装置のような種々の電球装置、Texas Instruments社から販売されているようなマイクロミラー、および、カリフォルニア州サニーヴェールのSilicon Light Machine社で開発されたようなグレーチング(grating)偏向電球を使用して操作できる。レーザ源のアレーのために、電球の全ての要素は、各レーザビームが拡がり離れた区域で重なることができるように

、あらゆるレーザ源によって照射することができる。このようにして、ある要素がなくともシステムの操作を大きく落とすことはない。2光学系レンズが、全ての利用可能なレーザ放射を効果的に使用するために、電球の各画素にシルクハット (top-hat) 供給レーザ光を収束するのに使用できる。

本発明は、その好ましい実施例に関して特に示され述べられてきたが、当業者にとって、形式や詳細の種々の変更は、添付した請求項によって規定された発明の精神と範疇から離れることなくすることができる。

他の実施例として、図4は、光学的増幅器70として構成された本発明の斜視図である。レーザ構成において、光学的増幅器70の構成は、半導体基板20、半導体利得媒体22、および第1のリフレクタ26を有している。光学的増幅器70が共振キャビティを有していないので、第2のリフレクタは必要がないことに注目してほしい。利得媒体22の第1の体積44は、電氣的または光学的エネルギー56と共に供給される。第1の体積44は、通常、直径D₁を有する断面的に円形である。上述したように、これは、第1の体積44の周りで第2の体積46内への横断したエネルギーの誘導的で同時的な伝搬を起こす。好ましい実施例において、第2の体積46は、断面積が実質的に円形で、その直径はD₂である。直径D₂の入射ビーム50と第1の振幅は、供給された領域で、第1の体積44と第2の体積46との両方によって重ね合わされ付勢されるようになされる。入射ビーム50は、ミラー26で反射し、そして、同様の直径D₂の出力ビーム52として解放される。出力ビーム52は、付勢された利得領域46で増幅され、そしてそれ故、入射ビーム50よりも高い強度である。そのような複数の利得要素が、システムの全体の利得を増加するために使用される。

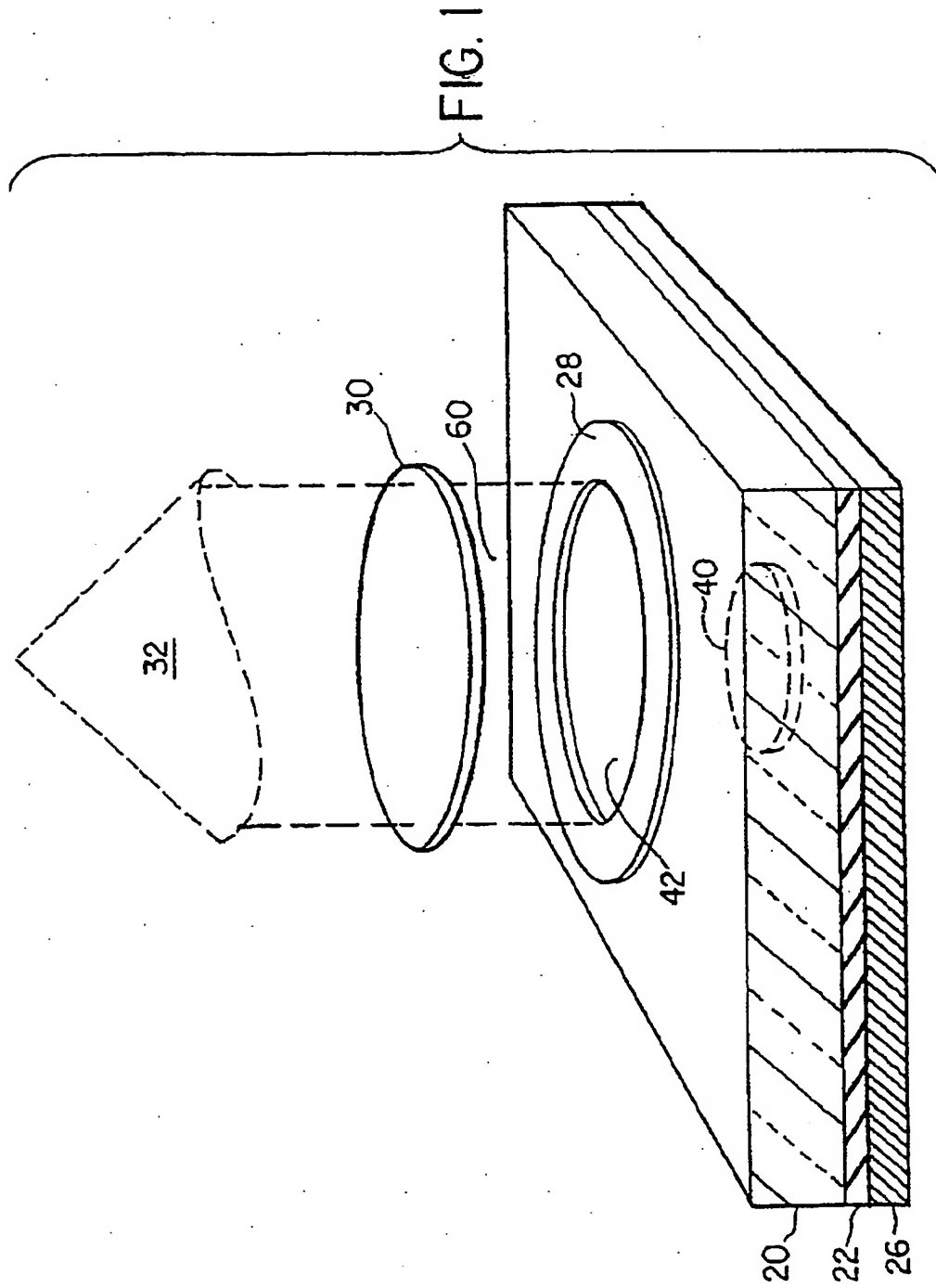
第2の他の実施例が図5に示されていて、光学結合の側面が示されている。単一のミラー／レンズ要素70は、VECSELレーザ78用の共振装置ミラーとして操作する第1の凹面72と、光学ファイバ76内にレーザ放射32を向けるための収束要素として操作する第2の凸面74とを有している。光学ファイバ76は、単一モードまたはマルチモードのファイバで構成されていても良く、レーザエネルギーがファイバの沢山の開口内に実質的に向けられるように、レーザ放

射32の焦点に位置している。第1の面72の反射性は、レーザ装置78からの出力が最大になるように最適化されるが、第2の面74と光学ファイバ76の入射面75とは、反射性を最小化するのにレーザ波長で反反射性の被覆がされている。

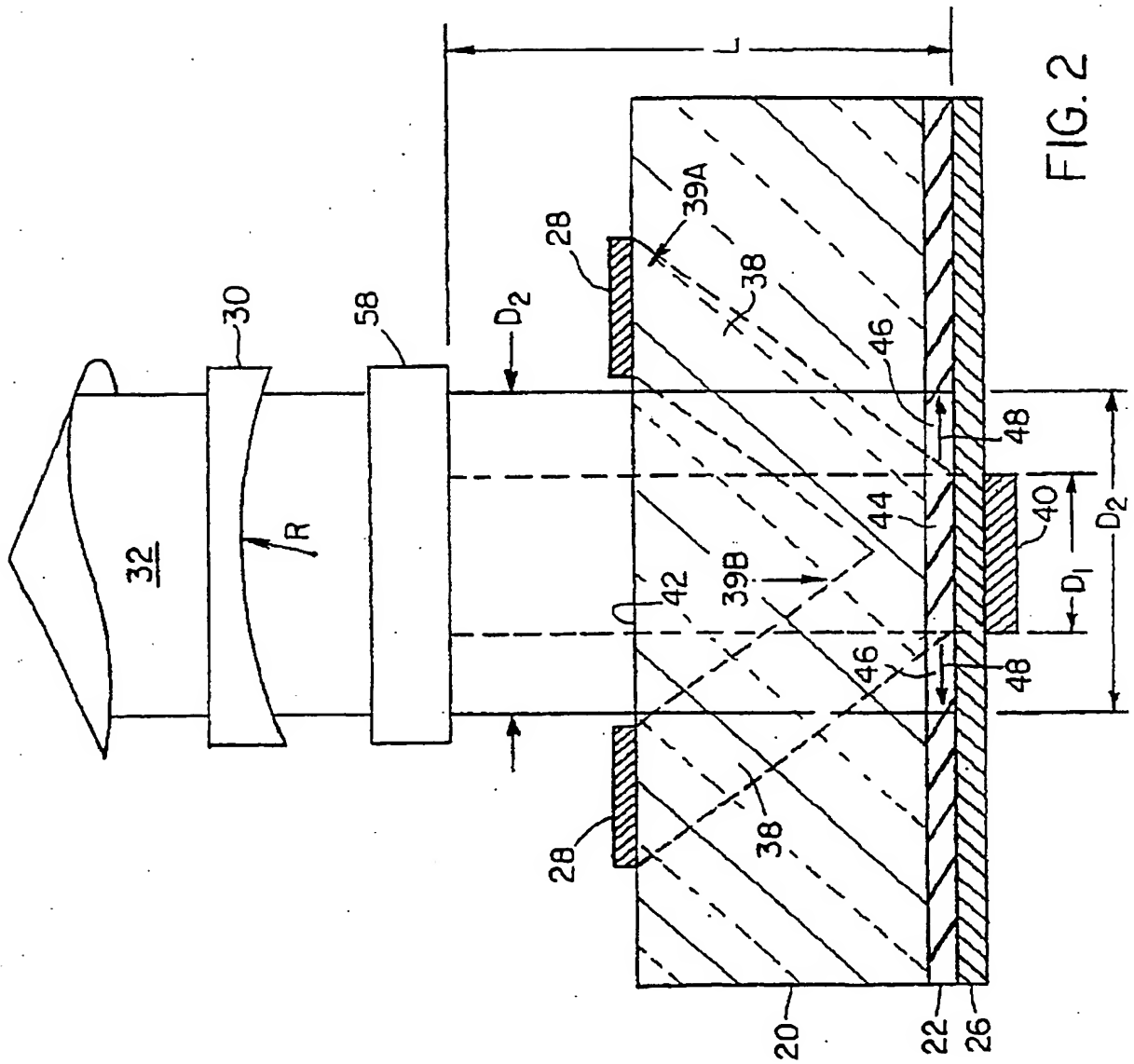
組み立て中において、ミラー／レンズ要素70は、レーザ出力結合を最大化するために整列され配置されていて、はんだ付け、エポキシおよび／またはレーザ溶接のような、良く知られた技術で固定される。ファイバは、次いで収束された放射32を受けるために位置付けられ、上述した技術の何れかによって設定され

る。この実施例は、キャビティミラーの機能と協同することによりファイバにエネルギーを収束するのに必要な光学要素の数の減少と、出力レンズを単一要素内へ入れることを提供する。

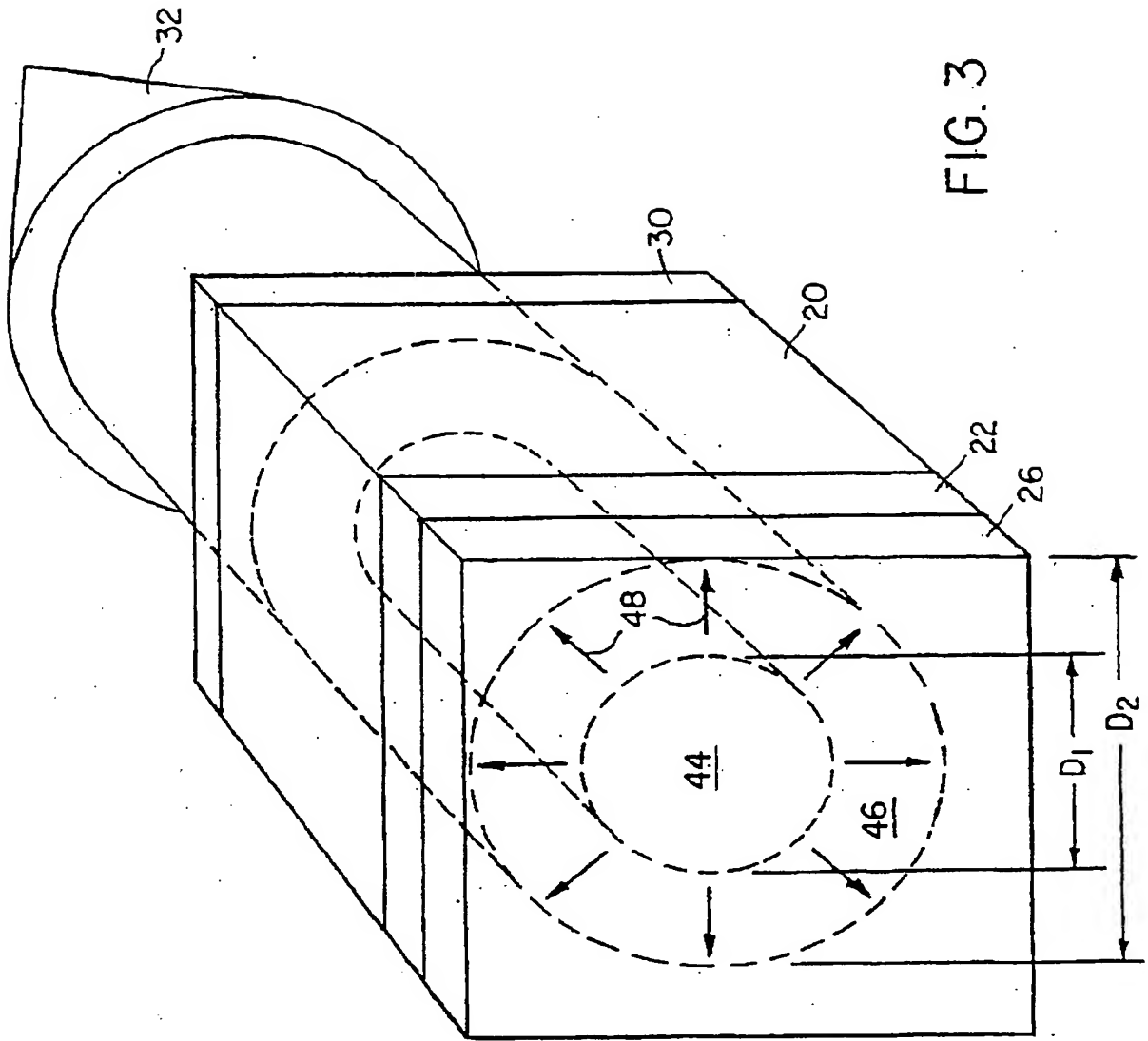
【図 1】



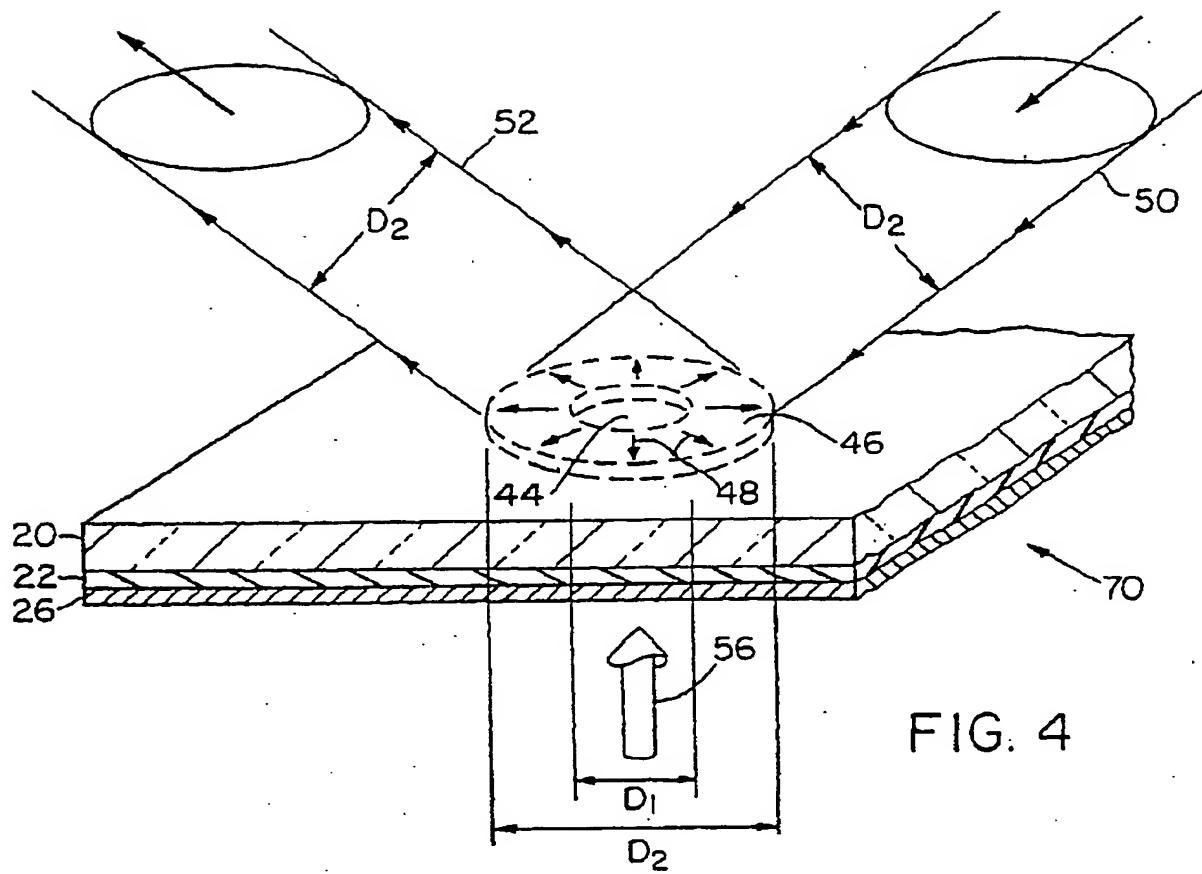
【図 2】



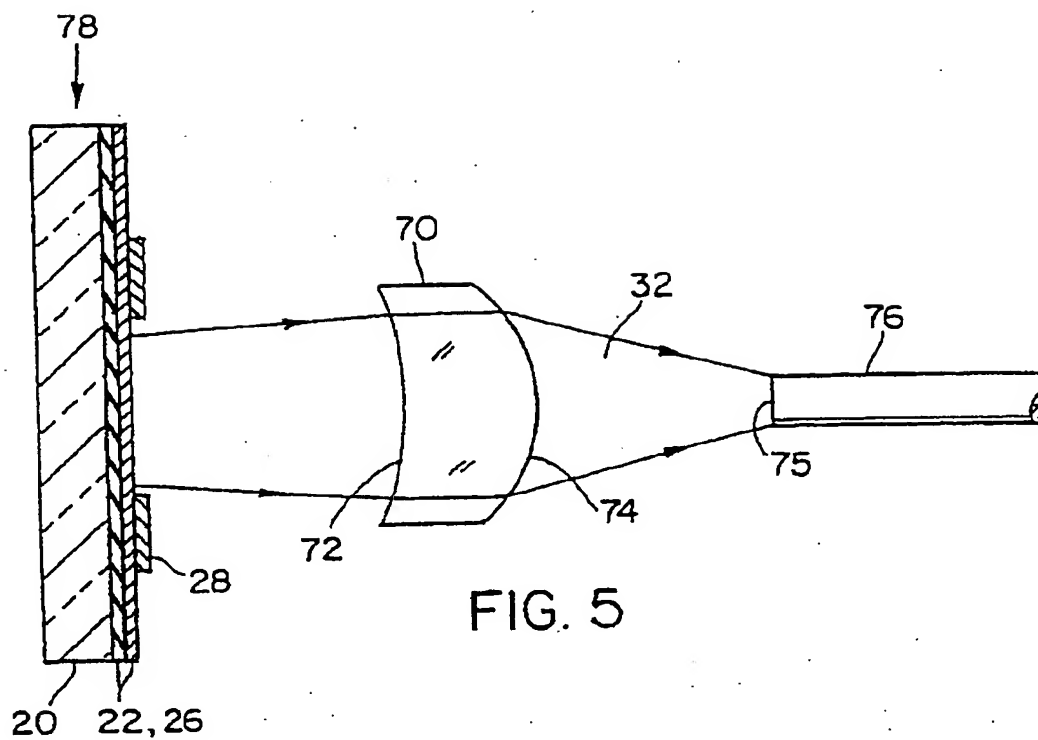
【図3】



【図 4】



【図 5】



【手続補正書】

【提出日】平成12年2月25日(2000. 2. 25)

【補正内容】

(1) 請求の範囲の記載を別紙の通り訂正する。

(2) 図面のFIG. 2(図2)を別紙の通り訂正する。

(3) 明細書の第6ページ第7行目から同ページ第17行目までの、

「第1のリフレクタと第2のリフレクタ26、30の間の距離とそれらの各曲率は、基本的なキャビティモード60を規定している。第2のリフレクタ30は、図1において、VECSEL構造に従って外部キャビティミラーとして示されている；しかしながら、第2のリフレクタ30は、それに代わって、VCSEL構造を構成するように基板の第2の面に直接隣接する層としても良い。本発明のためにここで使用される用語「リフレクタ」は、部分的におよび／または完全に反

射性の材料および／または面を含むことに注目してほしい。第2のリフレクタ30が面した基板20の表面42は、好ましくは、反反射性のコーティング42の処理がされ、境界面を横切るどのようなビームエネルギー60も、最小の反射で通過するであろう。好ましい態様は、従来技術において良く知られている。」

との記載を、

「第1のリフレクタと第2のリフレクタ26、30の間の距離とそれらの各曲率は、共振キャビティ60の基本的なキャビティモードを規定している。第2のリフレクタ30は、図1において、VECSEL構造に従って外部キャビティミラーとして示されている。しかしながら、第2のリフレクタ30は、それに代わって、VCSEL構造を構成するように基板の第2の面に直接隣接する層としても良い。本発明のためにここで使用される用語「リフレクタ」は、部分的におよび／または完全に反射性の材料および／または面を含むことに注目してほしい。第2のリフレクタ30が面した基板20の表面42は、好ましくは、反反射性のコーティング42の処理がされ、境界面を横切る共振キャビティ60のどのようなビームエネルギーも、最小の反射で通過するであろう。好ましい態様は、従来技術において良く知られている。」と訂正する。

請求の範囲

1. 垂直ギャビティ面放射レーザ装置であって：

共振キャビティ（60）を規定する第1と第2のリフレクタ（26）、（30）と；

前記共振キャビティ（60）内に配置された利得媒体（22）と；および

第1の体積（44）内で前記利得媒体（22）を付勢するためのエネルギー源（38）とを有し；

前記共振キャビティ（60）は関連するレーザビーム（32）の基本的なキャビティモードを規定し、前記エネルギー源（38）は前記基本的なキャビティモードと実質的に横断する方向へ前記利得媒体（22）内で伝搬するための光学的エネルギー放射（48）を生じさせ、横断するエネルギー放射（48）は前記第1の体積（44）の周りに前記利得媒体（22）の第2の体積（46）を光学的に供給し、前記第1と第2の体積（44）、（46）内の前記エネルギーは前記基本的なキャビティモード内に結合されていることを特徴とするレーザ装置。

2. 前記第1の体積（44）は実質的に円筒状で断面積の直径が D_1 であり、前記第2の体積（46）は実質的に環帯で断面積の外側の直径が D_2 であって断面積の内側の直径が D_1 であり、前記第1と第2の体積（44）、（46）は断面的に実質的に同心であることを特徴とする請求項1記載のレーザ装置。

3. 半導体基板（20）をさらに有し、前記利得媒体（22）は前記基板上に形成されていて、前記基板（20）と前記利得媒体（22）の両方が前記共振キャビティ内にあることを特徴とする請求項1または2記載のレーザ装置。

4. 前記利得媒体（22）は、半導体材料からなっていることを特徴とする請求項1ないし3いずれか1項記載のレーザ装置。

5. 前記利得媒体（22）は、少なくとも1つの量子井戸半導体材料構造を有していることを特徴とする請求項4記載のレーザ装置。

6. 前記第2のリフレクタ（30）は、前記半導体基板（20）に直接隣接していることを特徴とする請求項4記載のレーザ装置。

7. 前記第2のリフレクタ（30）は、前記半導体基板（20）の外側にある

ことを特徴とする請求項4記載のレーザ装置。

8. 前記第1と第2のリフレクタ(26)、(30)は、前記基本的なキャビティモードに従って形成されていることを特徴とする請求項1ないし7いずれか1項記載のレーザ装置。

9. 第1の体積(44)内で前記利得媒本(22)を電氣的に励起するための電氣的エネルギー源をさらに有し、それによって反転分布と誘導光学放射とを生成し、前記第1の体積(44)の横方向の範囲は前記利得媒体(22)の厚さよりも実質的に大きいことを特徴とする請求項1ないし8いずれか1項記載のレーザ装置。

10. 前記第1のリフレクタ(26)に隣接した第1のコンタクト(40)と、第1の端部で前記利得媒体(22)に隣接した半導体基板(22)と、および、第2の端部で前記半導体基板(22)に設けられた第2のコンタクト(28)とをさらに有し、前記第1と第2のコンタクト(40)、(28)は、前記利得媒体(22)の第1の体積(44)を電氣的に供給するために電氣的エネルギーを搬送するのに適していて、また前記第1と第2のコンタクト(40)、(28)は、前記半導体基板(22)と、前記利得媒体(22)と、前記第1のリフレクタ(26)とを通る電氣的エネルギー経路を規定することを特徴とする請求項9記載のレーザ装置。

11. 前記第1のコンタクト(40)が実質的に円い形状であって、前記第2のコンタクト(28)が実質的に環状の形状であることを特徴とする請求項10記載のレーザ装置。

12. エネルギー源は、光学的励起によって利得媒体(22)を付勢することを特徴とする請求項1ないし8いずれか1項記載のレーザ装置。

13. 前記利得媒体(22)は、固体材料で形成されていることを特徴とする請求項12記載のレーザ装置。

14. 前記固体材料は、Er:ガラス、Yb:ガラス、およびYb:YAGを有する材料のグループから選択されることを特徴とする請求項13記載のレーザ装置。

15. レーザビーム(32)の経路に設けられビーム(32)の周波数を調整

するための非線形材料をさらに備えたことを特徴とする請求項1ないし14いずれか1項記載のレーザ装置。

16. 非線形材料は、共振キャビティ(60)内に設けられていることを特徴とする請求項15記載のレーザ装置。

17. 非線形材料は、共振キャビティ(60)外に設けられていることを特徴とする請求項15記載のレーザ装置。

18. 非線形材料は、KTP、LiNbO₃、周期的に極化されたLiNbO₃、KTN、およびKNbO₃のグループから選択されることを特徴とする請求項15記載のレーザ装置。

19. 非線形材料は、レーザが単一の周波数で作動するファブリーペロー共振を有していることを特徴とする請求項15記載のレーザ装置。

20. エタロン、複屈折要素、ブリズム、およびグレーティングからなるグループから選択された内部キャビティ同調要素をさらに備えていることを特徴とする請求項1ないし19いずれか1記載のレーザ装置。

21. 前記第2の体積(46)に吸収された前記第1の体積(40)からの実質的に全部の励起エネルギーは、誘導放射によって基本的なキャビティモード内に放射されることを特徴とする請求項1ないし20いずれか1記載のレーザ装置。

22. 前記第1の体積(44)からの誘導光学放射は、基本的なキャビティモードの方向と実質的に交差する方向へ伝搬し、前記光学的に供給された第1の体積(44)を取り巻く環状の第2の体積(46)内の利得媒体(22)を光学的に励起し、それによって前記第2の体積(46)内で利得媒体(22)に反転分布を生成することを特徴とする請求項1ないし21いずれか1記載のレーザ装置。

23. アドレス可能な要素の配置として形成されていることを特徴とする請求項1ないし22いずれか1記載の複数レーザ装置。

24. レーザ装置の効率を改良するための方法であって、第1と第2のリフレクタ(26)、(30)を配置し、それによってレーザ装置の基本的な放射モード(60)を規定するステップと；第1のコンタクト(40)を第1のリフレク

タ(26)に配置し、それによってレーザ装置の作動領域(22)に第1の体積(44)を規定するステップと；第1のコンタクトを電氣的に付勢し、それによって第1の体積に光学的エネルギー放射を生成するステップと；光学的エネルギーを作動領域に沿って第1の体積(44)からこの第1の体積(44)に直接隣接する第2の体積(46)に伝搬し、それによって前記第2の体積(46)を誘導するステップと；および、光学的エネルギー放射を第1と第2の体積(44)、(46)の両方に結合するために、第1と第2のリフレクタ(26)、(30)を基本的な放射モードに適合するステップ；とを備えたことを特徴とする方法。

25. 第1のリフレクタ(26)から離れた側で半導体材料層(20)を作動領域(22)に直接隣接して配置するステップと；および、第2のコンタクト(28)を半導体材料層(20)に配置し、それによってレーザ装置内において第1のコンタクト(40)と第2のコンタクト(28)との間で半導体材料層(20)を通る電氣的エネルギー経路を規定するステップをさらに備えたことを特徴とする請求項24記載の方法。

26. 第1と第2のリフレクタ(26)、(30)の間に非線形材料を配置することによって基本的な放射モードの周波数を変換するステップをさらに備えたことを特徴とする請求項24または25記載の方法。

【図2】

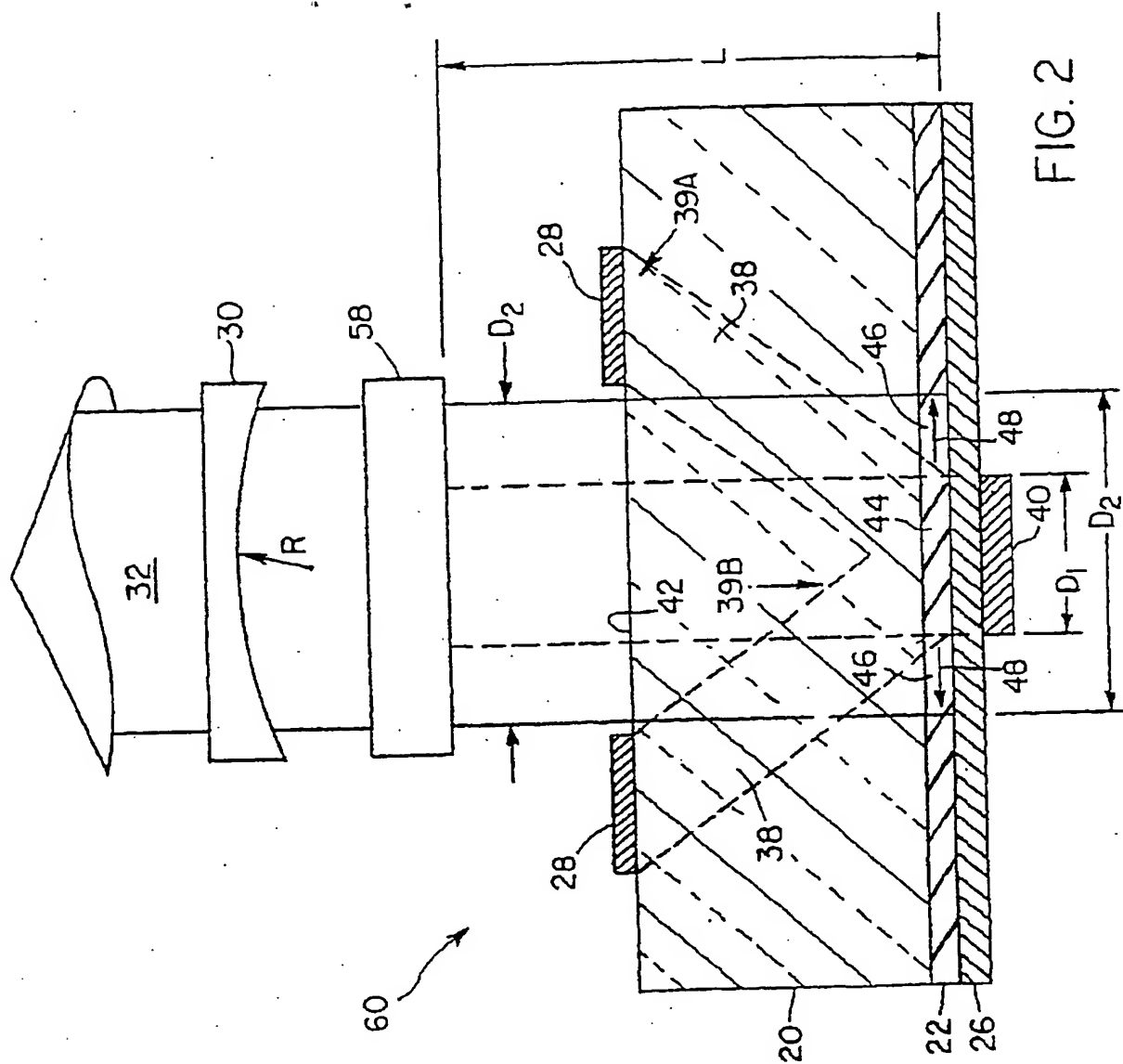


FIG. 2

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/US 98/05472

| | | |
|--|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H01S3/085 H01S3/06 H01S3/109 | | |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01S | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category | Citation of document, with indication where appropriate of the relevant passages | Relevant to claim No |
| A | WO 95 25366 A (MICRACOR INC : MOORADIAN ARAM (US): KUZNETSOV MARK E (US)) 21 September 1995 see page 20 - page 21; figures 1,2,9 | 1-3,5, 8-10,13, 16,17, 19-21,23 |
| A | SHIN J H ET AL: "ANOMALOUS ABOVE-THRESHOLD SPONTANEOUS EMISSION IN GAIN-GUIDED VERTICAL-CAVITY SURFACE-EMITTING LASERS" APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 68, no. 16, 15 April 1996, pages 2180-2182. XP000585154 see page 2180, left-hand column, last paragraph; figure 1 --- -/- | 1,19,20 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex | | |
| Special categories of cited documents "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claims; or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "A" document member of the same patent family | | |
| Date of the actual completion of the international search 23 July 1998 | | Date of mailing of the international search report 30/07/1998 |
| Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentplan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3018 | | Authorized officer Claessen, L |

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/US 98/05472

| C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|---|---|----------------------|
| Category | Citation of document, with indication where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No |
| A | US 5 420 880 A (TABATABAIE NED ET AL) 30 May 1995 see abstract; figures 1-5 --- | 1,19,20 |
| A | NISHIKAWA T ET AL: "INFLUENCE OF PHOTON REABSORPTION ON THE TRANSFER EFFICIENCY OF OUTPUT INTENSITY IN SEMICONDUCTOR MICROCAVITIES" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 9, no. 2, February 1997, pages 179-181, XP000683859 see page 179, right-hand column, paragraph 2 --- | 1,19,20 |
| A | DEPPE D G ET AL: "VERY-LOW-THRESHOLD INDEX-CONFINED PLANAR MICROCAVITY LASERS" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 7, no. 9, 1 September 1995, pages 965-967, XP000527491 see page 965, left-hand column, last paragraph --- | 1,19,20 |
| A | US 5 388 120 A (ACKLEY DONALD E ET AL) 7 February 1995 see abstract; figure 1 --- | 1,19,20 |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 095, no. 003, 28 April 1995 & JP 06 350191 A (NEC CORP), 22 December 1994, see abstract ----- | 1,19,20 |

Form PCT/BA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. l. Application No

PCT/US 98/05472

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|---|--|
| WO 9525366 A | 21-09-1995 | US 5461637 A DE 29521495 U US 5627853 A | 24-10-1995 22-05-1997 06-05-1997 |
| US 5420880 A | 30-05-1995 | NONE | |
| US 5388120 A | 07-02-1995 | NONE | |

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

フロントページの続き

(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, GW, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW

(72) 発明者 モーラディアン、アラン
アメリカ合衆国、カリフォルニア州
94904、ケンフィールド、ユニット・ビー、
サー・フランシス・ドレイク・ブールバー
ド 1101